

УДК 621.785.532

А. И. Сурус, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**С. Е. Бельский**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);**Ф. Ф. Царук**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований различных способов поверхностного упрочнения и влияния их технологических параметров на характеристики поверхностных слоев деталей лесных машин, а также некоторые рекомендации по выбору способа упрочнения для деталей из наиболее доступных металлических материалов, работающих в сложных условиях нагружения.

The article highlights theoretical and experimental results of different ways for surface hardening and the effect of their process variables on machine elements skin characteristics of logging machinery as well as some recommendations for the option of hardening modes for elements made of the commonest metallic materials operating in complex loading environment.

Введение. Как известно, надежность машин во многом определяется их долговечностью. Несмотря на очевидную неразрывную связь между долговечностью любого агрегата и условиями его эксплуатации на практике этой связью часто пренебрегают или ее недооценивают. В литературе встречаются отвлеченные оценки и сравнения долговечности машин, агрегатов или их деталей без надлежащей характеристики условий их работы.

В то же время различные эксплуатационные факторы в конкретных условиях эксплуатации могут оказывать если не решающее, то существенное воздействие на работоспособность отдельных деталей, узлов и машин в целом. Примером таких машин могут быть лесотранспортные, режим работы которых дополнительно характеризуется сочетанием влияния особенностей технологической нагрузки и дорожных условий.

Для лесотранспортных машин, с учетом наличия прицепных устройств и специфики грузов, нагружение ряда деталей характеризуется еще и особенностью колебаний всей транспортной системы, которые приводят к возникновению наиболее опасных по уровню нагрузок и накоплению усталостных повреждений и способствуют процессу изнашивания сопряженных поверхностей [1–3].

Пути повышения надежности и долговечности машин общего и специального назначения разноплановы, и их совершенствование невозможно объединить в одном направлении в связи с различием конструкций и условий эксплуатации.

Решение этой задачи зависит от мер, принимаемых на различных стадиях создания и эксплуатации изделий.

Повышения усталостной прочности и износостойкости можно достичь различными

способами: конструктивными мерами; применением технологических методов обработки поверхностей, обеспечивающих необходимое их качество, и т. д.

Одним из путей увеличения надежности деталей и узлов, на работоспособность которых влияют усталостные повреждения и износ, является повышение несущей способности и износостойкости их поверхностей. Это может быть достигнуто применением новых, более качественных материалов или эффективных упрочняющих технологий.

Основная часть. В качестве упрочняющих технологий широкое применение получили методы поверхностного упрочнения, в том числе химико-термические.

Основными преимуществами химико-термической обработки являются доступность и малая стоимость, а также возможность управлять составом и строением тонкого поверхностного слоя, изменяя градиент свойств от поверхности к сердцевине и повышая его служебные характеристики. В результате реализации этих процессов упрочнения износостойкость деталей, а для ряда из них и циклическая прочность повышаются в несколько раз.

Для тяжело нагруженных деталей применяют комбинированные методы упрочнения, например нитроцементацию и др.

Высокая прочность и износостойкость цементированных, нитроцементированных, борированных и хромированных деталей, а также стабильность данных технологических процессов делают их весьма эффективными. Но эти химико-термические процессы происходят при температурах выше температур структурных превращений, что неизбежно сопровождается повышенной деформацией упрочняемых деталей и, как следствие, необходимостью выпол-

нения трудоемких операций восстановления их геометрии [4].

В тех случаях, когда процесс упрочнения является финишным и необходима минимальная деформация при высоких показателях поверхностной твердости, износостойкости, усталостной прочности и сопротивления заеданию, целесообразно применять упрочнение деталей методом азотирования. При определенных условиях азотирование позволяет существенно повысить твердость и износостойкость ряда быстроизнашивающихся деталей, поскольку у контактной поверхности происходит образование фаз высокой твердости [4].

Способ газового азотирования в аммиаке не дает хороших результатов при обработке обычной углеродистой стали, а при изготовлении деталей из специальных сплавов ухудшается их обрабатываемость и увеличивается стоимость. Большие длительность обработки (до 60 ч) и расход аммиака делают этот процесс непроектируемым.

Азотирование в жидких средах имеет ряд преимуществ: возможность получения высокой скорости нагрева; отсутствие насыщения поверхностного слоя металла водородом, вызывающего хрупкость; крайне незначительные термические напряжения и деформации за счет меньшей температуры и продолжительности процесса. Это позволяет применять его для высокоточных и ответственных деталей после их финишной механической обработки.

Процесс жидкостной низкотемпературной карбонитрации в расплаве на основе нетоксичных и широко распространенных солей – карбамида и кальцинированной соды, как показывают результаты исследований, обеспечивает насыщение поверхности изделий азотом и углеродом. Процесс прост, надежен и может быть использован для финишного упрочнения весьма широкой номенклатуры инструмента, узлов и деталей машин и технологической оснастки (пресс-формы для получения резинотехнических изделий и пластмасс, приводы смесителей, дозаторов, шнеков, насосы, дисковые ножи, зубчатые колеса, червяки, валы, кольца, втулки, оси и т. п.). В результате упрочнения жидкостной карбонитрацией установлено существенное повышение стойкости и долговечности ряда изделий за счет благоприятного распределения напряжений, повышения твердости и износостойкости поверхностного слоя.

Однако применению данного способа для более широкой номенклатуры изделий препятствуют такие его недостатки, как малая толщина

упрочненного слоя и поверхностная твердость. Указанные недостатки особенно важны для деталей, работающих в условиях повышенных контактных напряжений и износа, что является характерным для ряда деталей лесных машин в силу специфики их работы, в том числе для наиболее ответственных элементов трансмиссии (валы, вкладыши, вилки переключения передач, шлицевые соединения и т. д.).

В данной работе рассмотрены вопросы совершенствования процесса упрочнения поверхностей деталей машин с целью его интенсификации и повышения качества поверхностного слоя.

Анализ результатов ряда исследований [5, 6] по применению механических колебаний в различных технологических процессах и их влияния на кинетику диффузии легирующих элементов в стали показал, что высокочастотные механические колебания могут быть фактором, способствующим эффективному упрочнению металлических материалов методами химико-термической обработки.

Поэтому для разработки технологического процесса упрочнения ответственных деталей лесных машин, работающих в условиях сложного циклического нагружения и повышенного износа, проведен ряд исследований возможности интенсификации жидкостного азотирования применением знакопеременных механических колебаний и влияния их параметров при различных температурно-временных режимах упрочнения на образование и свойства поверхностного слоя различных марок конструкционных сталей. Как показали результаты исследования, применение колебаний способствовало повышению толщины упрочненного слоя на всех исследуемых сталях (рис. 1, 2).

Повышение толщины слоя наиболее характерно для легированных сталей при значительном времени обработки (4–5 ч), что может быть объяснено интенсификацией как процессов в расплаве, так и диффузии в стали.

Анализ влияния частоты колебаний позволяет сделать вывод о более эффективном воздействии механических колебаний с частотой 18 кГц при введении их в расплав.

Как показали результаты исследований, использование дополнительной энергии знакопеременных колебаний обеспечивало повышение твердости для всех исследованных материалов. Величина прироста твердости зависит как от схемы ввода колебаний, так и от их частоты. Следует отметить, что применение колебаний снижает негативное влияние превышения оптимального времени процесса насыщения.

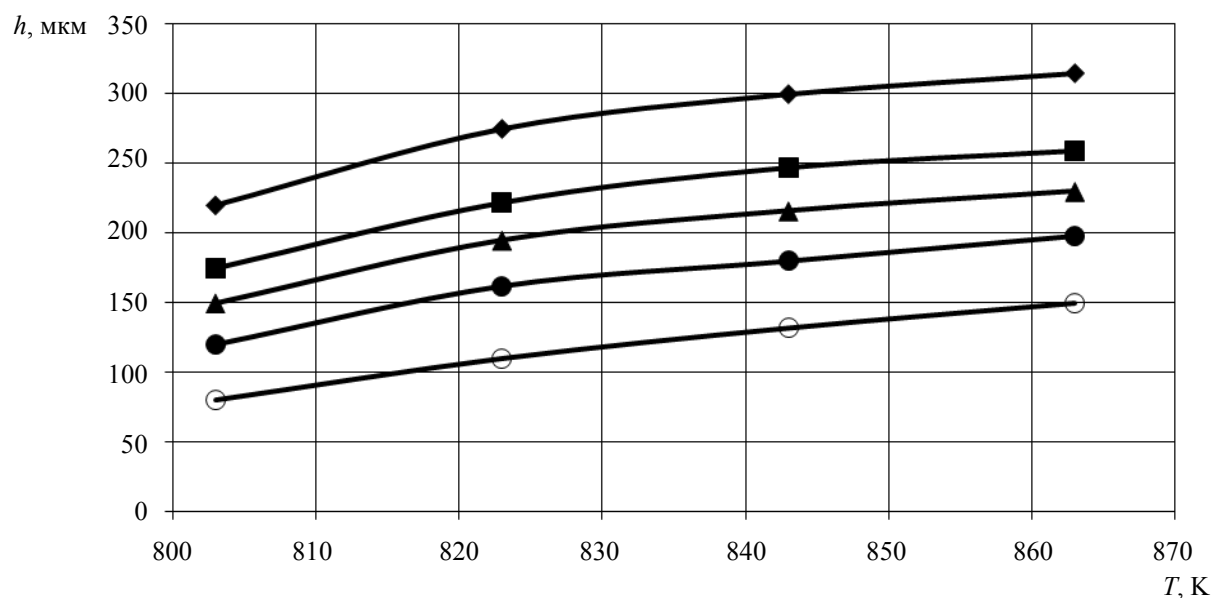


Рис. 1. Влияние температуры и времени упрочнения на толщину диффузионного слоя стали 40X:
 ◆ — 5 ч; ■ — 3 ч; ▲ — 2 ч; ● — 1,5; ○ — 1 ч

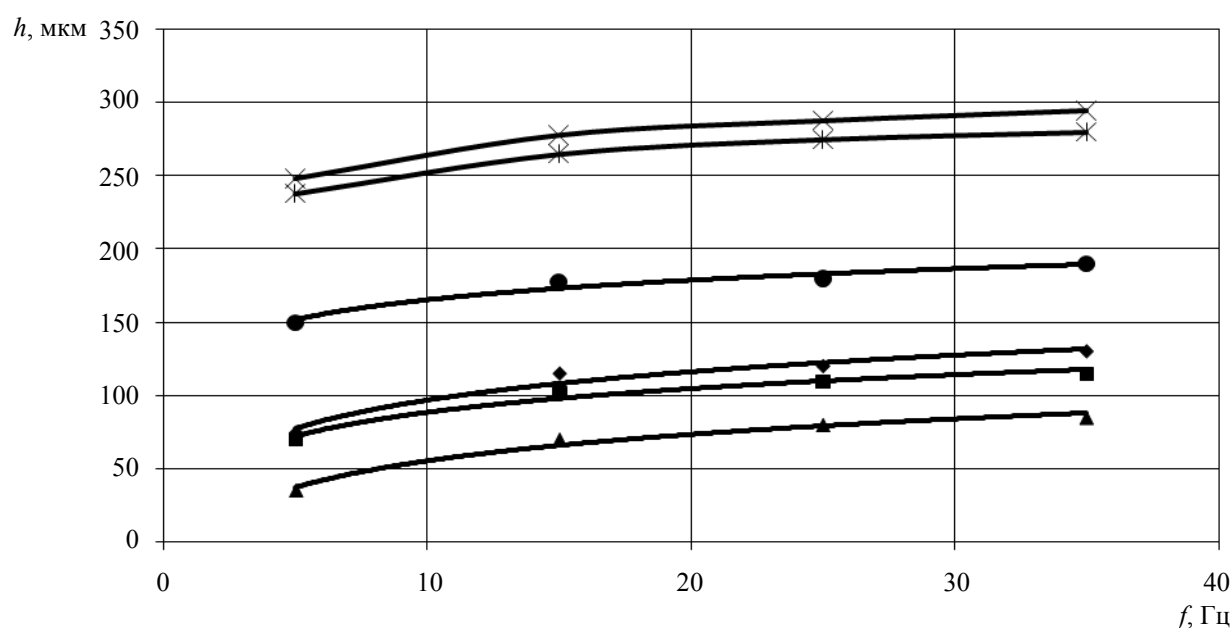


Рис. 2. Влияние частоты колебаний, вводимых в расплав при различном времени насыщения, на толщину диффузионного слоя различных сталей:
 ▲ — сталь X18H9 — 0,5 ч; ■ — сталь 40X — 0,5 ч; ◆ — сталь 45 — 0,5 ч; ● — сталь X18H9 — 2,5 ч;
 ж — сталь 40X — 2,5 ч; х — сталь 45 — 2,5 ч

Исследование поверхностной твердости при введении колебаний частотой 18 кГц непосредственно в упрочняемые образцы показало, что эти характеристики в узле колебаний выше, чем в пучности при всех режимах диффузионного насыщения. У образцов из стали 38ХМЮА при тех же режимах обработки поверхностная твердость достигала в узле колебаний 558 и 701 НВ, а в пучности — 524 и 578 НВ и, таким образом, была меньше на 6 и 19% соответственно. Различие в твердости поверхностного слоя по длине образца может быть объяснено зависимостью

скорости насыщения металла азотом от интенсивности ультразвукового поля и является одним из недостатков данной схемы обработки.

Исследования влияния способа и времени карбонитрации на усталостную долговечность (рис. 3) показали, что применение колебаний при диффузионном упрочнении существенно повышает усталостную долговечность по числу циклов N до полного разрушения образца. Усталостные характеристики улучшаются даже при непродолжительном времени обработки (0,5 ч). Применение колебаний обеспечивает

повышение числа циклов до разрушения образца на 20–25% при использовании частоты 18 кГц и на 15–20% при частоте 3 кГц (при оптимальном времени обработки 2–3 ч). При более длительной обработке, необходимой для получения поверхностных слоев повышенной толщины, введение колебаний в расплав препятствует снижению усталостной долговечности.

Зависимость величины износа от времени карбонитрации представлена на рис. 4. Как видно из приведенных данных, использование

колебаний существенно повышает износостойкость поверхностного слоя, определяемую по потере массы образцов. При времени обработки до 2 ч это объясняется в первую очередь ускорением протекания химических процессов в расплаве и адсорбции азота и углерода, а также диффузии их в сталь, что приводит к более интенсивному образованию мелкодисперсных карбонитридных частиц и в целом к формированию плотного поверхностного слоя повышенной износостойкости.

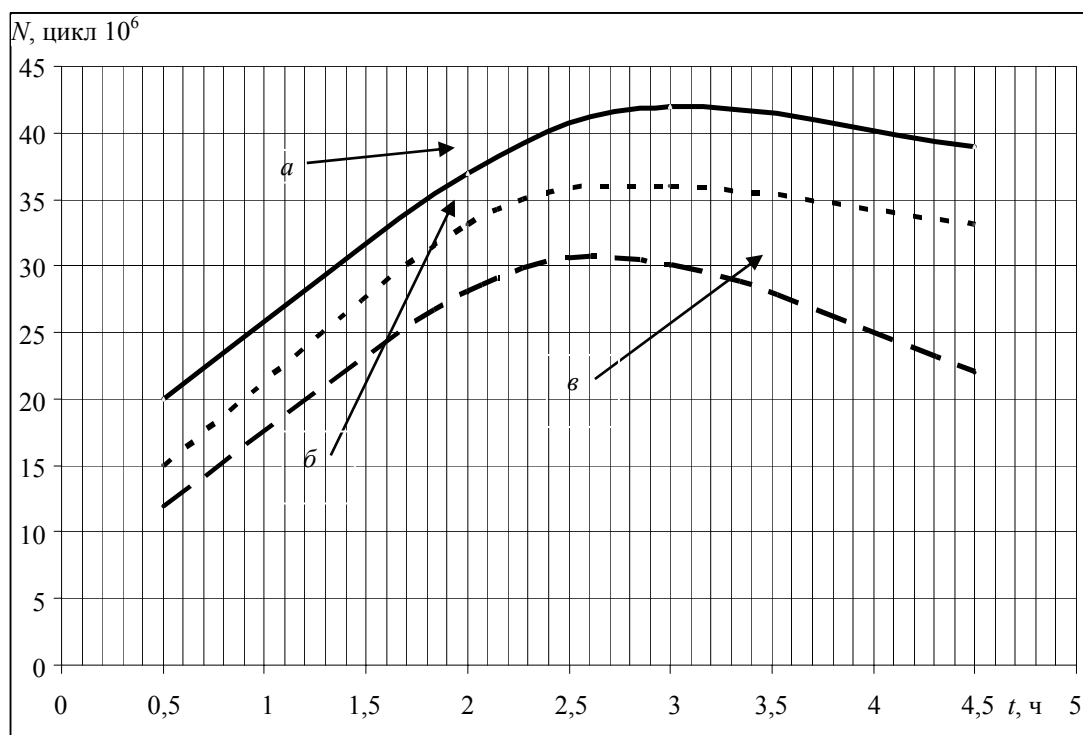


Рис. 3. Влияние способа и времени карбонитрации на усталостную долговечность стали 40X:
a – 18 кГц; б – 3 кГц; в – без колебаний

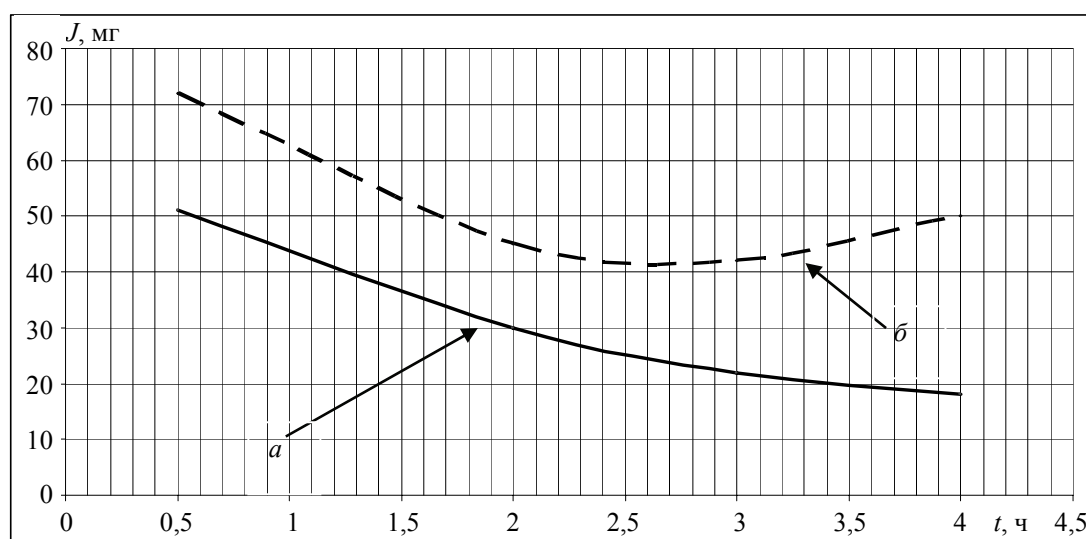


Рис. 4. Зависимость величины износа образцов стали 40X от времени карбонитрации:
a – с использованием колебаний; б – без колебаний

С увеличением времени насыщения свыше 3 ч износостойкость при отсутствии колебаний несколько снижается: это связано с тем, что поверхностный слой становится грубым и шероховатым. По этой же причине при такой схеме обработки отмечается и некоторое снижение усталостных характеристик. Очевидно, что при определенных условиях испытаний в слое происходит выкрашивание некоторых участков, при этом крупные карбиды и нитриды могут играть роль абразива в зоне трения.

При использовании колебаний кривая износа имеет существенно меньший участок приработки и более продолжительный участок, соответствующий зоне установившегося изнашивания. Исследования, проведенные на сканирующем электронном микроскопе, показали, что при обработке без использования колебаний на этапе приработки наблюдается смятие и сглаживание отдельных неровностей шлифованной поверхности.

На стадии установившегося изнашивания происходит постепенное увеличение поврежденных фрагментов поверхности с образованием достаточно больших участков выкрашивания карбонитридного слоя. Отмечается, как следствие развития усталостных процессов, микро-трещинообразование.

При использовании колебаний, обеспечивающих образование более развитого и прочного карбонитридного слоя, практически полностью отсутствует выкрашивание участков поверхности. Преобладает постепенное окислительно-абразивное истирание материала, то есть один из наименее агрессивных видов износного разрушения, что и обеспечивает значительное

увеличение участка установившегося изнашивания.

Выводы. Полученные результаты показывают существенное повышение износостойкости и усталостных характеристик при использовании жидкостной карбонитрации в комбинации с возбуждением в расплаве колебаний частотой 18 кГц. Это может способствовать повышению надежности и ресурса деталей машин, работающих в условиях сочетания трения и динамических нагрузок, например, таких как шлицевые валы коробок передач.

Литература

1. Аникин Н. И. Снижение динамической нагруженности и повышение долговечности трансмиссий лесопромышленных колесных тракторов на основе анализа динамических процессов в характерных условиях эксплуатации: автореф. дис. ...канд. техн. наук. М., 1988. 20 с.
2. Островерхов Н. Л., Русецкий И. К., Бойко Л. И. Динамическая нагруженность трансмиссий колесных машин. Минск: Наука и техника, 1977. 192 с.
3. Киршин В. Г. Снижение динамических нагрузок в системе «двигатель – трансмиссия – ходовая часть» автомобилей-самосвалов с колесной формулой 6х4: автореф. дис. ...канд. техн. наук. М., 1984. 19 с.
4. Лахтин И. М., Коган Л. Д. Азотирование стали. М.: Машиностроение, 1976. 256 с.
5. Кулемин А. В. Применение ультразвука в машиностроении. М.: Машпром, 1972. С. 38–41.
6. Диффузионные процессы в металлах / В. М. Голиков. [и др.]. – Тула: Тульский политехнический институт, 1976. 181 с.

Поступила 27.02.2014